

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-133047

(43)Date of publication of application : 22.05.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/13
G02B 6/12

(21)Application number : 08-287970

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 30.10.1996

(72)Inventor : DOMOTO CHIAKI
NAGATA SEIICHI
IWAMEJI KAZUAKI
NISHIMURA KOTA

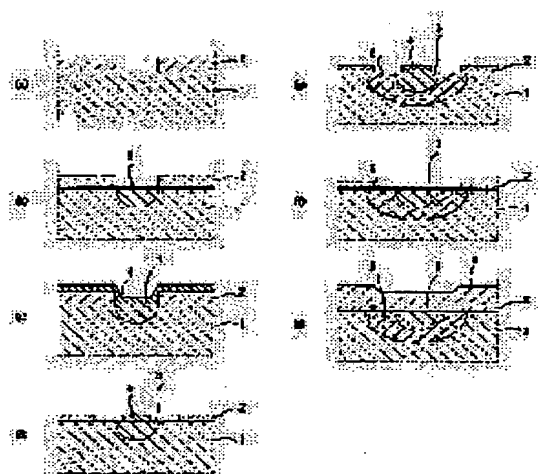
(54) FORMATION OF OPTICAL WAVEGUIDE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate the complication of production stages and structure and the degradation in reproducibility as a device and to eliminate the cost increase of the device by doping an impurity into first regions made porous, making second regions porous and subjecting a silicon substrate to a heat treatment to oxidize the first and second regions.

SOLUTION: The surface of the silicon substrate 1 is provided with a mask layer 2 opened only in the first region 3 parts which are the core parts of optical waveguides. The first region 3 parts which are the core parts are made porous by an anodic oxidation treatment. These parts are then subjected to doping of an impurity. The mask 2 opened only in the second region 5 parts which are the lower clad parts is disposed and the anodic oxidation of the second time is executed. A thermal oxidation treatment is then executed to convert the porous silicon of the first and second regions 3, 5 to a quartz. An upper clad layer 6 is disposed in the final.

The first regions 3 in the silicon substrate is made porous in such a manner and the impurity is doped to the first regions 3. The second regions 5 are made porous and the silicon substrate 1 is heat treated to oxidize the first and second regions 3, 5.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3245367

[Date of registration]

26.10.2001

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-133047

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int.Cl.⁹

G 0 2 B 6/13
6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

M
N

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-287970

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 10 月 30 日

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市山科区東野北井ノ上町 5 番地
の 22

(72) 発明者 堂本 千秋

京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 京
セラ株式会社中央研究所内

(72) 発明者 永田 清一

京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 京
セラ株式会社中央研究所内

(72) 発明者 岩目地 和明

京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 京
セラ株式会社中央研究所内

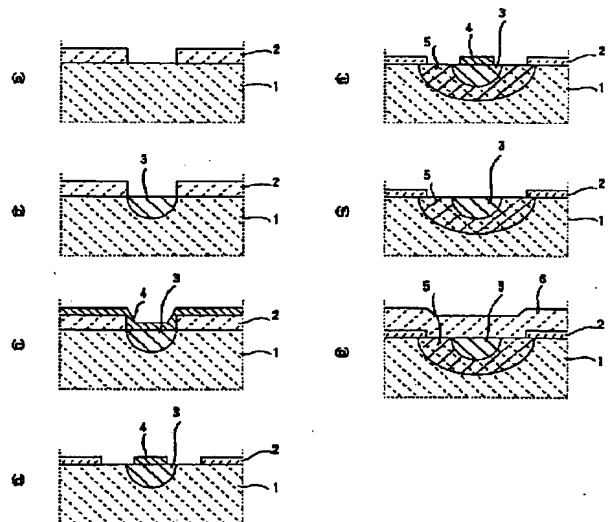
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路の形成方法

(57) 【要約】

【課題】 工程が煩雑で、コア部とクラッド部の光学的性質や膜厚を選択し難く、光の伝搬損失を低減し難い。また、コア部の屈折率が高く、この導波路から外部のファイバーなどに光を取り出す際の光結合損失が大きいという問題があった。

【解決手段】 シリコン基板内にコア部とクラッド部から成る光導波路を形成する光導波路の形成方法において、前記シリコン基板内のコア部となる第一の領域を多孔質化する工程と、この第一の領域に不純物をドーピングする工程と、この第一の領域周辺部のクラッド部となる第二の領域を多孔質化する工程と、前記シリコン基板を熱処理して前記第一の領域と第二の領域を酸化する工程を含んで成る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板内にコア部とクラッド部から成る光導波路を形成する光導波路の形成方法において、前記シリコン基板内のコア部となる第一の領域を多孔質化する工程と、この第一の領域に不純物をドーピングする工程と、この第一の領域周辺部のクラッド部となる第二の領域を多孔質化する工程と、前記シリコン基板を熱処理して前記第一の領域と第二の領域を酸化する工程を含んで成ることを特徴とする光導波路の形成方法。

【請求項2】 前記第一の領域を45～60%の多孔度10に多孔質化することを特徴とする請求項1に記載の光導波路の形成方法。

【請求項3】 前記不純物がチタンもしくはチタン酸化物であることを特徴とする請求項1に記載の光導波路の形成方法。

【請求項4】 前記熱処理を酸素雰囲気中で行った後、水蒸気雰囲気中で行うことを特徴とする請求項1に記載の光導波路の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光導波路の形成方法に関し、特に光通信システムや光情報処理システムの光集積回路などで使用される光導波路の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、光集積回路では基板上に発光素子もしくは受光素子を固定して設けるとともに、この発光素子もしくは受光素子と光ファイバーを光学的に接続するために、石英系の光導波路が使われていた。各種光導波路のうち、最も薄い膜厚で構成されるシングルモードの光を伝送する平面型光導波路は、基板上に厚さ20μm程度の下部クラッド層とコア層上に、厚さが20μm程度の上部クラッド層を形成して構成される。このような条件は、相対的に屈折率の小さい上下クラッド層全体の膜厚を合わせると、数十μm程度になり、いわゆる半導体集積回路技術の概念からすると、極めて厚い膜で構成されることになる。

【0003】現状の光導波路の厚膜製造技術の多くは、半導体集積回路製造技術に基づいた方法を用いて製造されている。すなわち、コア層や上下クラッド層などは、スパッタリング法や化学気相堆積(CVD)法などで形成される。これらの方法は、成膜速度が遅く、製造に長時間を要するため製造コストが高くなり、その低減が課題となる。

【0004】これを改善した厚膜の高速堆積技術として、火炎堆積(FHD)法が提案されている。この火炎堆積法は、酸素素炎の還元雰囲気、シラン(SiH₄)などの金属水素化合物から酸化シリコン(SiO₂)の粉末を基板上に堆積するものである。ところが、この火炎堆積法は、粉末堆積であるが故に、製造が困難

であり、また粉末を緻密化するために、1200～1300℃の高温熱処理を必要とするという問題があった。酸化シリコン粉末の緻密化に高温を要することは、コア層の屈折率を大きくするために、高濃度に不純物をドーピングしても、光伝送の損失が相対的に小さいという長所を持つが、一方で蒸気圧が高い酸化ゲルマニウム(GeO₂)のような材料を高濃度にドーピングすることを難しくしている。また、基板上に堆積した酸化シリコン粉末を高温で軟化して緻密化することは、その高温状態で堆積膜に流動性を与えて緻密化することであり、高温状態では、基板と堆積膜間の歪みは開放し得るが、基板温度を常温まで下げると、基板と堆積膜との熱膨張係数の相違によって大きな内部ストレスを内包することになる。この内部ストレスによって、基板が大きく湾曲し、大規模・大面積の光集積回路を形成する上での障害となっている。すなわち、光集積回路を形成するチップは、通常数mm×数十mmの大型であり、この大型のチップを安価に大量に生産するには、大型シリコン基板を用いれば有利となるが、上記のような内部ストレスによる基板曲がりのために、大型基板の使用が困難になる。特に光回路で要求される酸化シリコンの膜厚は、上記のように数十μmに達することから、酸化シリコン膜を形成する工程の温度と常温との温度差に基づく膨張係数の差は基板の反りに大きく影響する。

【0005】さらに、厚さ10μm程度のコア層をエッチングしてリッジ型コア部を形成するには、数μm程度の厚いエッチングマスク層を必要とすることと、そのマスク層自体のパターニングにも多数の製造工程と時間を必要とするという問題がある。

【0006】このような問題を回避するために、例えばWO91/10931号(PCT/GB91/00044)公報では、シリコン基板をフッ酸(HF)溶液中で、陽極化成処理して多孔質シリコンを作製し、この多孔質シリコンを窒化または酸窒化して光導波路を形成することが提案されている。すなわち、シリコン基板上に線状のドーピング領域を形成し、このドーピング領域を陽極化成処理して多孔質シリコン化し、次いでこの多孔質シリコン領域を窒化又は酸窒化してシリコン基板全面に不純物をドーピングし、このドーピングした領域を多孔質化するために2回目の陽極酸化を行い、作製された多孔質層を酸化して最後に緻密化のために1150℃、10分間の熱処理を行うものである。ところが、この方法では、二度のドーピング、陽極化成、酸窒化工程があり、複雑で長い工程が必要であるという問題があった。

【0007】また、V.B.Bondarenkoらは、Tech.Phys.Lett.19(1993)468.及びMicroelectronic Engineering 28(1995)447.において、多孔質シリコンを酸化して光導波路を形成する方法を開示している。この方法は、高濃度にボロン(B)をドーピングした単結晶シリコン基板上に窒化シリコン(SiN_x)を形成して、この窒化シリコン

膜を部分的に除去し、この部分的に除去した窒化シリコン膜をマスクとして単結晶シリコンを直接陽極化成により多孔質シリコン化し、その後、この多孔質シリコンを酸化し、さらに酸化温度よりも高温の1150℃で25分間の緻密化処理を行うものである。この方法は簡単であるが、光伝搬の更なる低損失化という点において、次の2点の課題を残している。第1は、コア部とクラッド部それぞれの酸化膜の光学的性質と膜厚を自由に選べないこと。第2は、シリコン基板とコア部との間に介在すべきクラッド部の光学的特性と膜厚を任意に選択できないことである。このクラッド部の実効膜厚を十分に厚くできない場合、コア部を伝搬する光エネルギーはシリコン基板に漏れだし、伝搬損失が大きくなるという問題を誘発する。

【0008】さらに、米国特許第4,927,781号公報および同第5,057,022号公報には、多孔質シリコン層をクラッド部として用いるとともに、結晶質シリコン自体をコア部として用いる光導波路の作製方法が開示されている。すなわち、シリコン基板上に、高濃度ドーブ層をエピタキシャル成長させるとともに、この高濃度ドーブ層上に低濃度ドーブ層をさらにエピタキシャル成長させ、この低濃度ドーブ層のコアとなる部分のみを残して、他の低濃度ドーブ層部分を選択除去した後、高濃度ドーブ層を多孔質化し、この多孔質化した部分を緻密化することによって、酸化シリコンを下部クラッド層にすると共に、低濃度ドーブ層の残存部分をコアとするものである。この方法は、二度のエピタキシャル成長とコアとなる「厚い」半導体層の選択エッチングなど形成工程が複雑である。また、コアである結晶性シリコンは、波長1.3μmの光に対する屈折率が3.5と非常に大きいため、この導波路から外部のファイバーなどに光を取り出す際の導波路とファイバー間の光結合損失が大きくなり、結合損失の低減が課題となる。

【0009】本発明は、このような従来技術に鑑みて発明されたものであり、製造工程や構造が複雑化することを解消するとともに、装置としての再現性が悪いことを解消し、さらに装置が高価になることを解消した光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に係る光導波路の製造方法では、シリコン基板内にコア部とクラッド部から成る光導波路を形成する光導波路の形成方法において、前記シリコン基板内のコア部となる第一の領域を多孔質化する工程と、この第一の領域に不純物をドーピングする工程と、この第一の領域周辺部のクラッド部となる第二の領域を多孔質化する工程と、前記シリコン基板を熱処理して前記第一の領域と第二の領域を酸化する工程を含んで成る。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明を添付図面に基づき

詳細に説明する。図1は、本発明に係る光導波路の製造方法の工程の一例を示す図である。まず、同図(a)に示すように、シリコン基板1上に、光導波路のコア部となる第一の領域3部分のみが開口したマスク層2を設ける。このマスク層2は、陽極化成処理で高濃度のフッ酸溶液を用いるため、耐フッ酸性が必要である。耐フッ酸性のマスク層としては、Au、Pt、a-Si、SiNx、レジスト膜などがある。また、これらの膜を多層構造にして、耐フッ酸性を増すことも可能である。シリコン基板1としては、p型或いはn型のいずれでも可能である。

【0012】次に、同図(b)に示すように、陽極化成処理により、コア部となる第一の領域3部分を多孔質化する。この陽極化成処理を行うための装置を図2に示す。図2において、1はシリコン基板、7は化成チャンパー、8は陽極白金電極、9は陰極白金電極、10はフッ酸溶液、11は直流電源である。化成チャンパー7はフッ素樹脂などから成る。この装置では、陽極白金電極8側と陰極白金電極9側のフッ酸溶液10はシリコン基板1を介して分離されている。陰極白金電極9が入ったフッ酸溶液10がシリコン基板1の表面から多孔質化する。陽極化成処理で用いるフッ酸溶液10は、フッ化水素酸とエタノールと水の混合液で、フッ化水素酸濃度は15～50%である。陽極化成処理時の電流密度は、10～250mA/cm²である。シリコン基板1としてn型基板を用いる場合は、陽極化成中にタングステンランプなどにより、光を照射する必要があるが、p型基板を用いる場合は、光照射の必要はない。

【0013】図3は、陽極化成時間と多孔質シリコンの厚みとの関係を示す図である。図3に示すように、陽極化成時間と多孔質シリコンの厚みにはほぼ比例関係がある。シリコン基板1が6～10μmの深さまで多孔質化すれば、一回目の陽極化成処理を終える。この厚みがコア部の径となるので、導波する光がシングルモードとなるように、不純物のドーピング量と多孔質化する第一の領域3の径を調整する必要がある。多孔質シリコンの酸化による体積膨張を考慮して、この第一の領域3の多孔度を45～60%に調整する。

【0014】次に、図1(c)に示すように、不純物のドーピングを行う。不純物としては、Be、Mg、Al、Cd、Y、Zr、Pb、Ti、La、Nb、S、B、Sr、Geやそれらの酸化物、或いはそれらを含む化合物などがあり、シリコン基板1上に蒸着、スピコート、電着などの方法で成膜する。ドーピング量は、ドーピング材料によって異なる。通常は、コア部とクラッド部(SiO₂)の比屈折率差(Δn(%))が0.25～2.0程度になるように、不純物のドーピングを行う。酸化チタンは、屈折率が2.71と石英の屈折率1.48に対して非常に高く、微量であってもコア部の屈折率をあげることができると共に、二回目の陽極化成工程で

フッ酸溶液中に溶出しにくいという利点がある。このため、ドーピング材料として酸化チタンを用いた場合は塗布した材料のほぼ全量がシリコン基板 1 内にドーピングされ、コア部の屈折率調整を精度良く行うことができる。

【0015】次に、同図 (d) に示すように、下部クラッド部となる第二の領域 5 部分のみが開口したマスク 2 を設ける。上記ドーピング材料が二回目の陽極化成処理の条件によってフッ酸溶液に溶出する場合には、必要部分にドーピング材料を残すためのマスク 4 を別途設ければよい。

【0016】次に、同図 (e) に示すように、二回目の陽極化成を行う。陽極化成条件は、一回目の陽極化成条件と同一である。

【0017】次に、同図 (f) に示すように、熱酸化処理を行い、第一の領域 3 と第二の領域 5 の多孔質シリコンを石英にする。酸化温度は通常 950~1050℃であり、酸素又は水蒸気雰囲気中で 0.5~2 時間程度行う。

【0018】最後に、同図 (g) に示すように、上部クラッド層 6 を設ける必要がある場合は、スピノングラス法、CVD 法、FHD 法等で形成することができる。

【0019】

【実施例】抵抗 $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の p^+ 型シリコン基板を用いて光導波路を作製した。シリコン基板の面方位は $\langle 100 \rangle$ である。このシリコン基板表面に n 型の $a\text{-Si}$ をスパッタリング法で厚み 2000 \AA に成膜した。 n 型の膜を用いるのは、 $a\text{-Si}$ から成るマスク層が陽極化成処理で化成されないようにするためである。次いで、コア部となる第一の領域部分のみ $a\text{-Si}$ マスクをフォトリソグラフィ技術を用いて開口した。コア部の目標断面形状は、幅×深さ = $10 \times 10 (\mu\text{m})$ である。マスク開口部の幅を $2 \mu\text{m}$ に設定し、目標断面形状よりも細かくした。これは、シリコン基板内部の下方向のみならず、横方向にも多孔質化が進むためである。 $a\text{-Si}$ から成るマスク層のエッチングマスクとしてレジスト材料を所定パターンに形成した。エッチングは、フッ硝酸溶液（フッ酸：硝酸：水 = 1：20：5）を用いて行った。

【0020】 $a\text{-Si}$ のエッチング後、レジストマスクを $a\text{-Si}$ 上に残したまま陽極化成処理を行った。この陽極化成は図 2 に示す装置を用いて行った。陽極化成溶液としては、フッ酸 30%（フッ酸：エタノール：水 = 6：7：7）溶液を用いた。陽極化成処理の条件は、電流密度が $30 \text{ mA} \cdot \text{cm}^2$ で、5 分間である。シリコン基板表面部の多孔質化は約 $9 \mu\text{m}$ の深さまで進み、 $a\text{-Si}$ マスク開口部における幅は $10 \mu\text{m}$ となった。

【0021】次に、ドーピング材料として単金属酸化物薄膜用塗布材料をスピノット法で基板表面に塗布した。このドーピング材料は焼成後に溶剤等が蒸発して酸

化チタン (TiO_2) 膜がシリコン基板に残るものである。ドーピング材料を塗布した後に、 120°C のクリンオープンで 10 分間仮焼成した。

【0022】レジストマスクをアセトンで除去して、レジストマスク上の不要なドーピング材料を同時に除去し、多孔質部分のドーピング材料のみを残した。また、フォトリソグラフィ技術により、下部クラッド層となる部分の $a\text{-Si}$ をエッチングにより除去した。

【0023】次に、二回目の陽極化成処理を行った。陽極化成条件は、電流密度が $30 \text{ mA} \cdot \text{cm}^2$ で、処理時間は 20 分である。一回目の陽極化成処理を行った多孔質シリコン上には酸化チタンの膜が付いており、この部分からは多孔質化は進まず、コア部を取り囲むように多孔質化が進んだ。

【0024】酸化処理を図 5 に示す温度プロファイルで行った。すなわち、酸素雰囲気中 300°C でまず 1 時間、水蒸気雰囲気中 900°C で 1 時間、水蒸気雰囲気中 1050°C で 1 時間行った。その後室温まで自然冷却した。

【0025】次に、上部クラッド層をスピノングラス法で形成した。

【0026】最後に、シリコン基板をへき開して導波路端面を研磨した。その後、 $1.3 \mu\text{m}$ レーザ光を導波路端面から入射してもう一方の導波路端面から出射される導波光を CCD カメラで観察した。導波路は良好な特性を示し、シングルモードで導波していることが確認できた。観察された NFP (Near Field Pattern) から、水平、垂直断面の光強度のプロファイルを測定した。図 5 に示すように、導波路は良好な特性を示し、シングルモードで導波していることが確認できた。

【0027】

【発明の効果】以上のように、本発明に係る液晶表示装置の製造方法によれば、シリコン基板内のコア部となる第一の領域を多孔質化する工程と、この第一の領域に不純物をドーピングする工程と、この第一の領域周辺部のクラッド部となる第二の領域を多孔質化する工程と、前記シリコン基板を熱処理して前記第一の領域と第二の領域を酸化する工程を含んで成ることから、工程が簡略化されると共に、不純物を選択してドーピングすることにより、コア部とクラッド部の光学的性質を比較的自由に選ぶことができる。また、陽極化成処理時のマスクの開口部を最適値に設定することで、コア部とクラッド部の厚みも変化させることができ、光の伝搬損失の低減を図ることができる。さらに、コア部の屈折率は 1.68 以下に抑えることができ、この導波路から外部のファイバーなどに光を取り出す際の導波路とファイバー間の光結合損失が低減できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光導波路の形成方法を示す工程図である。

7

8

【図2】陽極化成処理を行うための装置を示す図である。

【図3】陽極化成処理時間と多孔質シリコン層の厚みとの関係を示す図である。

【図4】熱処理時の温度プロファイルを示す図である。

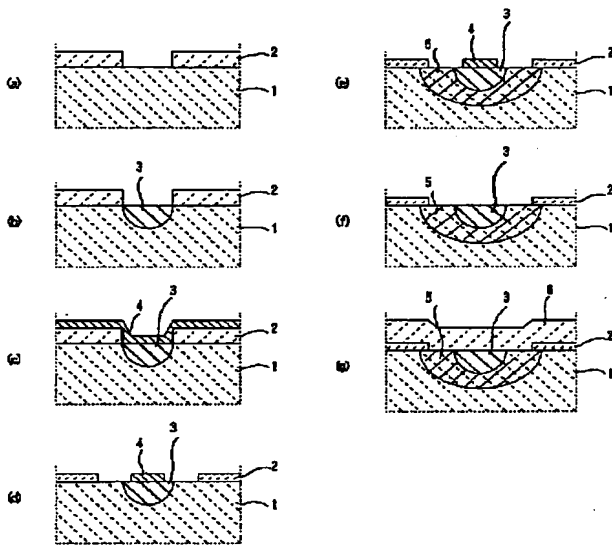
【図5】本発明に係る形成方法により形成した光導波路における導波路のニアフィールドパターンから求められ

る光強度のプロファイルを示す図である。

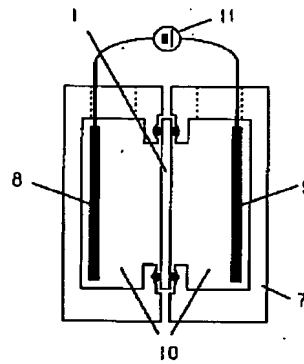
【符号の説明】

1・・・シリコン基板、2・・・陽極化成マスク、3・・・第一の領域、4・・・不純物、5・・・第二の領域、6・・・上部クラッド部、7・・・化成チャンバ一、8・・・陽極白金電極、9・・・陰極白金電極、10・・・フッ酸溶液

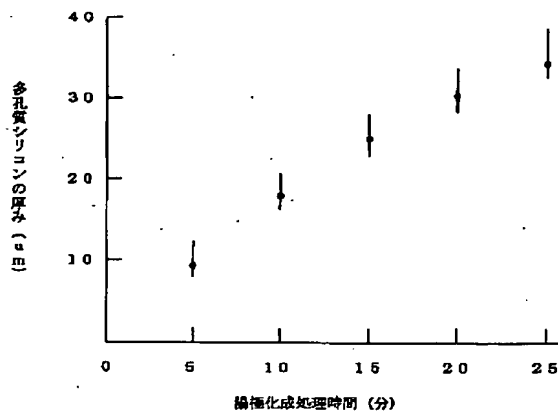
【図1】



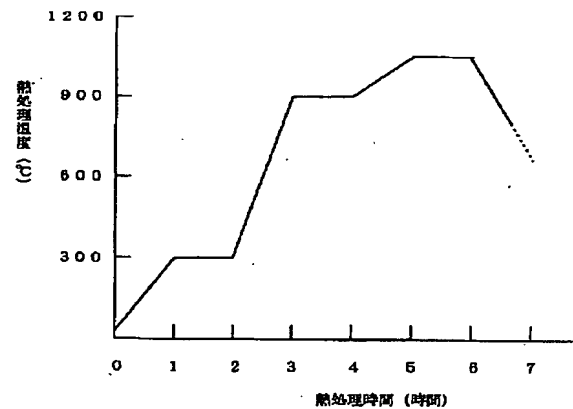
【図2】



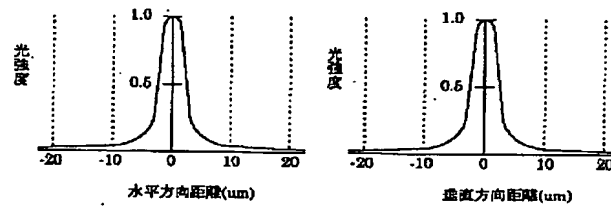
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 西村 剛太
京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地 京
セラ株式会社中央研究所内